

В.А. Дубовский

КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ РЕАБИЛИТАЦИОННЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ БОЛЬНЫХ С ДВИГАТЕЛЬНЫМИ НАРУШЕНИЯМИ

Аннотация

В статье предложено описание компьютеризированного реабилитационного тренажера для больных с двигательными нарушениями, обусловленными заболеваниями центральной нервной системы. Тренажер позволяет осуществлять тестирование и тренинг как способности пациента удерживать равновесие на неустойчивой опоре, так и его способности управлять перемещениями центра тяжести своего тела.

В настоящее время одним из перспективных направлений в реабилитации больных с двигательными нарушениями, обусловленными заболеваниями центральной нервной системы (ЦНС), является тренировка устойчивости вертикальной позы с применением средств стабилотриии, оснащенных биологической обратной связью. Пациент становится на стабилотриическую платформу и, руководствуясь сигналами зрительной или акустической обратной связи, в том или ином виде отражающими положение центра давления его тела в плоскости опоры, выполняет поставленные перед ним двигательные задачи для тренировки статической и динамической устойчивости. В основе такого подхода к восстановлению нарушенных двигательных функций лежит способность ЦНС формировать новые функциональные связи взамен существующих на основе активных действий пациента, получающего в реальном масштабе времени информацию о достигнутом результате выполнения задания [1]-[4].

На основе вышеуказанного подхода в Объединенном институте машиностроения Национальной академии наук Беларуси создан действующий образец компьютеризированного реабилитационного тренажера для больных с двигательными нарушениями. Характерной особенностью конструкции тренажера является наличие неустойчивой опорной платформы, имеющей возможность совершать угловые перемещения (в диапазоне $\pm 4^\circ$) относительно сферической опоры, посредством которой она установлена на основании. Неустойчивость опорной платформы усложняет для пациента задачу поддержания равновесия тела, расширяя при этом диапазон его двигательной активности, что позволяет более гибко подходить к реабилитации тех или иных двигательных нарушений по сравнению с устойчивыми стабилотриическими платформами. Регистрация отклонений опорной платформы от горизонтального положения осуществляется с помощью акселерометрических датчиков, что позволяет непосредственно измерять ее отклонения относительно направления силовых линий гравитационного поля Земли и повышать тем самым точность регистрации состояния равновесия пациента.

Программное обеспечение реабилитационного тренажера выполнено в среде Borland Delphi 7 и обеспечивает тестирование и тренинг как способности пациента удерживать равновесие на неустойчивой опоре, так и его способности целенаправленно управлять перемещениями центра тяжести своего тела. Каждый тест реализован в отдельном программном модуле, который выбирается из основной программы с помощью меню. Модульная структура программного обеспечения тренажера позволяет расширять его функциональные возможности путем встраивания новых модулей.

Перед тестированием в базу данных пациентов посредством диалогового окна (рис. 1) вводятся все необходимые сведения об испытуемом.

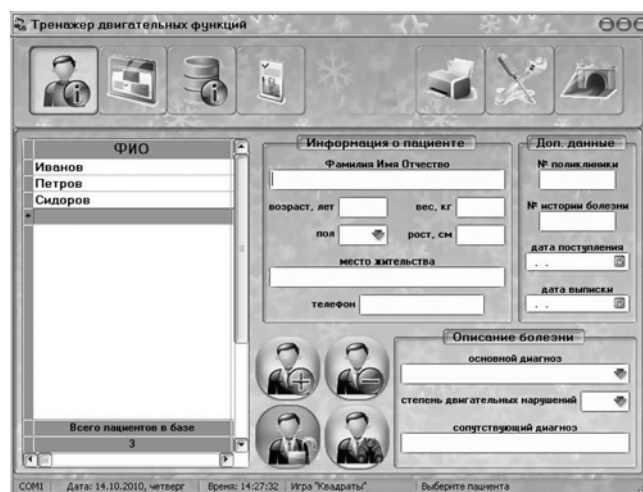


Рис. 1. Диалоговое окно для внесения данных о пациенте

Для тестирования способности пациента удерживать равновесие в диалоговом окне (рис. 2) из меню тестов выбирается тест «Равновесие» и устанавливаются режим работы (с акустической и/или зрительной биологической обратной связью или без нее), длительность тестирования (от 0,5 до 3 мин), условия тестирования (с открытыми или закрытыми глазами). Кроме того, в специальном окне «Настройка программы» задается значение предельно допустимого отклонения опорной плат-

формы от положения равновесия. Для ознакомления новых пациентов с работой тренажера при тестировании функции равновесия предусмотрен специальный режим «Проба».

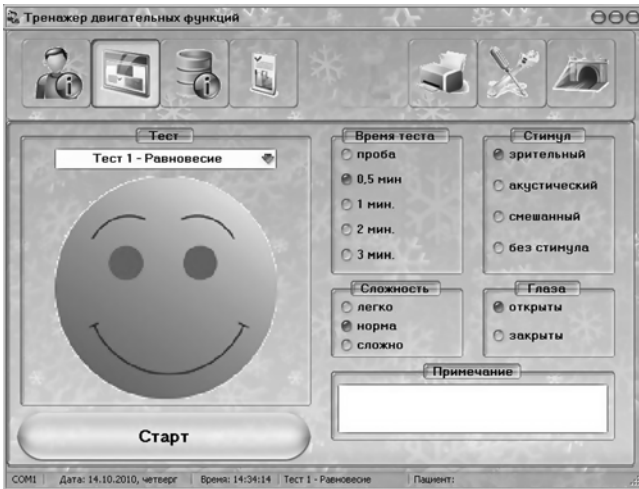


Рис. 2. Диалоговое окно для выбора теста

При тестировании испытуемый стоит в вертикальной позе на опорной платформе и старается удержать равновесие, руководствуясь информацией об угловых перемещениях платформы относительно нейтрального (горизонтального) положения, отображаемых на экране монитора в виде соответствующих смещений носика-треугольника от своего естественного (отмеченного пунктирной линией) положения на изображении улыбающегося лица (рис. 3). Задача испытуемого состоит в удержании носика-треугольника в естественном положении. При этом испытуемый также получает информацию о том, находится ли текущее отклонение опорной платформы от положения равновесия внутри или вне заданной области ее допустимых отклонений. В первом случае в окне с визуальной обратной связью изображено улыбающееся лицо, во втором случае лицо становится хмурым. Благодаря визуальной обратной связи человек обучается удерживать равновесие в условиях неустойчивой опоры, что способствует совершенствованию (или восстановлению) его функции равновесия.



Рис. 3. Окно с визуальной обратной связью в тесте «Равновесие»

В процессе тестирования регистрируются отклонения опорной платформы от нейтрального положения и по окончании тестирования определяется показатель E_1 выполнения задания пациентом по формуле

$$E_1 = \frac{1}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\delta}{\Delta} \right) dt,$$

где T – длительность тестирования; δ – модуль отклонения опорной платформы от положения равновесия; Δ – предельно допустимое отклонение опорной платформы от положения равновесия.

Численное значение полученного показателя отображается в окне с результатами тестирования данного пациента (рис. 4), которое открывается автоматически по истечении времени T .

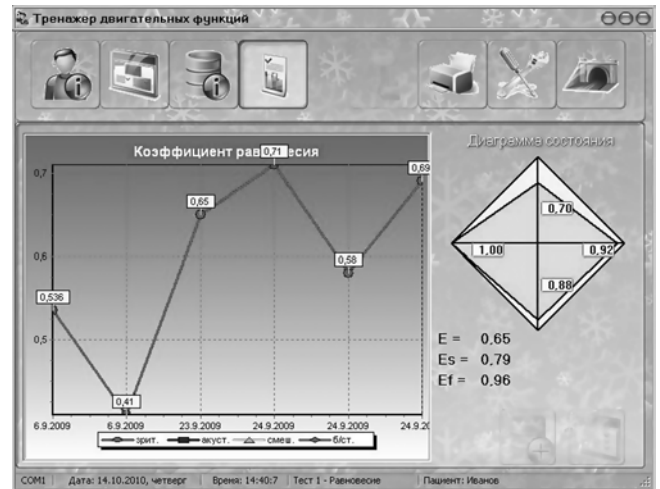


Рис. 4. Окно с результатом теста «Равновесие»

В данном окне отображаются также все предыдущие результаты тестирования способности данного пациента удерживать равновесие на неустойчивой опоре в виде графика, показывающего динамику их изменения в течение всего периода выполнения данного задания на тренажере. Предусмотрена также возможность формирования отчета по результатам тренинга выбранного пациента.

ФИО	Тест	Дата	T	Глаза	E	Сf	Сs	Доп. параметры
Иванов	1	6.9.2009	0.5 мин	открыты	0.538			
Иванов	1	6.9.2009	0.5 мин	открыты	0.41			
Иванов	1	23.9.2009	0.5 мин	открыты	0.65			
Иванов	1	24.9.2009	0.5 мин	открыты	0.71			
Иванов	1	24.9.2009	0.5 мин	открыты	0.58			
Иванов	1	24.9.2009	0.5 мин	открыты	0.69			
Петров	2	10.9.2010	-	-	0.63	2.69	500.67	Dk-100 Dm-50 N-2 Vm
Петров	2	11.9.2010	-	-	0.5	2.93	0	Dk-100 Dm-50 N-2 Vm
Петров	2	12.9.2010	-	-	0.63	500.98	2.95	Dk-100 Dm-50 N-2 Vm
Петров	2	12.9.2010	-	-	1	12.15	25.84	Dk-100 Dm-50 N-2 Vm
Петров	2	13.9.2010	-	-	0.25	0	0.02	Dk-60 Dm-50 N-2 Vm
Сидоров	2	13.9.2010	-	-	0.63	5.08	6.51	Dk-60 Dm-50 N-2 Vm
Сидоров	2	13.9.2010	-	-	0.13	22.35	4.09	Dk-60 Dm-50 N-2 Vm
Сидоров	2	14.9.2010	-	-	0.25	0.68	1.49	Dk-60 Dm-50 N-2 Vm
Сидоров	2	14.9.2010	-	-	0.25	9.64	1.02	Dk-60 Dm-50 N-2 Vm

Рис. 5. Окно с результатами измерений

Если тестирование пациента прошло в установленном порядке, то вновь полученный результат вкуче со всеми параметрами тестирования заносится в базу данных измерений (рис. 5).

Второй программный модуль тренажера обеспечивает тестирование и тренинг способности пациента целенаправленно управлять перемещениями центра тяжести своего тела.

В соответствии с методом, реализованным в данном модуле, испытуемого устанавливают на опорной платформе, например в вертикальной стойке. Посредством биологической обратной связи ему предъявляют информацию о текущем положении его плоскости опоры в виде курсора-квадрата определенного цвета и заданного размера, который отклоняется от центральной точки окна с визуальной обратной связью на экране монитора в соответствии с угловыми отклонениями опорной платформы от горизонтального положения. При этом в поле окна с визуальной обратной связью последовательно, в четыре этапа (сверху вниз, снизу вверх, слева направо и справа налево), перемещается заданное количество случайным образом структурированных в пространстве-времени мишеней-квадратов. Испытуемому дается задание на первых двух этапах путем перемещения центра тяжести своего тела во фронтальной плоскости управлять положением опорной платформы таким образом, чтобы курсор, перемещаясь по горизонтали, коснулся как можно большего числа мишеней. Аналогичным образом на третьем и четвертом этапах испытуемый должен коснуться курсором как можно большего числа мишеней, перемещая центр тяжести своего тела в сагиттальной плоскости.

Для тестирования способности пациента управлять перемещениями центра тяжести своего тела в диалоговом окне (рис. 2) из меню тестов выбирается тест «Квадраты», после чего в специальном окне «Настройка программы» задаются параметры тестирования: размеры курсора-квадрата и мишеней-квадратов, количество и скорость перемещения последних. Во время тестирования открывается окно с визуальной обратной связью (рис. 6).

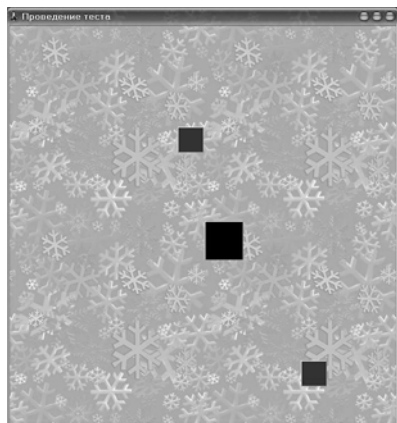


Рис. 6. Окно с визуальной обратной связью в тесте «Квадраты»

На каждом этапе тестирования регистрируются количество мишеней, которых испытуемый коснулся курсором, и длина пути, пройденного курсором. По окончании каждого этапа тестирования определяется показатель E_2 эффективности выполнения задания по формуле

$$E_2 = n / N,$$

где n – количество мишеней, которых испытуемый коснулся курсором; N – количество заданных на этапе мишеней.

Показатель C цены выполнения задания вычисляется по формуле

$$C = L / n,$$

где L – длина пути, пройденного курсором.

По окончании тестирования открывается окно (рис. 7), в котором отображаются значения эффективности и цены выполнения задания пациентом при управлении им перемещениями центра тяжести своего тела во фронтальной плоскости, в сагиттальной плоскости, а также при выполнении теста в целом. В окне отображаются также все предыдущие результаты тестирования способности данного пациента управлять перемещениями центра тяжести своего тела в двух указанных плоскостях в виде графиков, показывающих динамику их изменения в течение всего периода выполнения данного задания на тренажере.

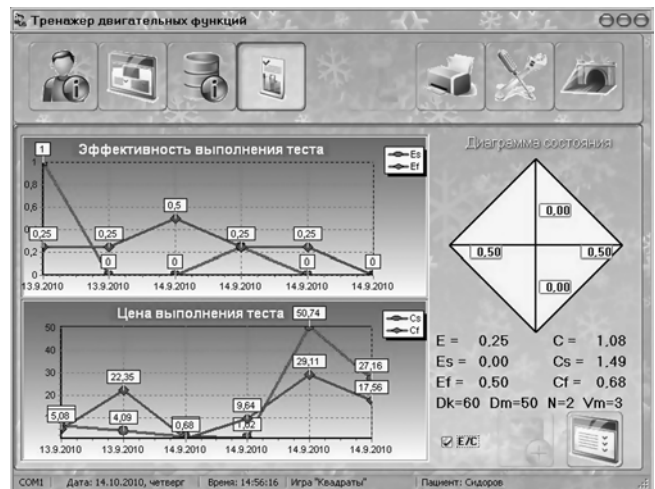


Рис. 7. Окно с результатом теста «Квадраты»

Благодаря возможности задавать различные значения размеров курсора и мишеней, а также количество и скорость перемещения последних, данный программный модуль позволяет формировать задания пациенту различной степени сложности.

Таким образом, метод, реализованный в данном модуле, позволяет получить комплексную оценку способности человека целенаправленно управлять перемещениями центра тяжести своего тела, включающую как обобщенный показатель, так и показатели двух ее составляющих – сагиттальной и фронтальной – при решении двигательных задач различной степени сложности.

Проведенные исследования предлагаемого компьютеризированного тренажера, обладающего оригинальностью технических и методических решений, позволяют рассматривать его как эффективное средство восстановления функции движения у больных с двигательными нарушениями, обусловленными заболеваниями ЦНС.

Список литературы:

1. Черникова Л.А., Устинова К.И., Иоффе М.Е., Ермолаева Ю.А., Слива С.С., Девликанов Э.О., Переяслов Г.А. // Бюллетень СО РАМН. 2004. № 3. С. 85-91.
2. Устинова К.И., Черникова Л.А., Матвеев Е.В., Лукьянова Ю.А., Алешкин Д.В., Васильев А.А. // Мед. техника. 2000. № 6. С. 35-40.
3. Устинова К.И., Черникова Л.А., Иоффе М.Е. Биоправление – 4. Теория и практика. Сб. науч. тр. – Новосибирск, 2002. С. 185-189.

4. Geurts A.C.H., de Haart M., van Nes I.J.W. and Duysens J. // Gait & Posture. 2005. Vol. 22. Issue 3. PP. 267-281.

Владимир Андреевич Дубовский,
ст. научный сотрудник,
лаборатория эргатических систем,
ГНУ «Объединенный институт
машиностроения Национальной
академии наук Беларуси»,
Республика Беларусь,
г. Минск,
e-mail: v_dubovsky@tut.by

В.Ю. Плавский, А.Б. Рябцев, И.А. Леусенко, В.А. Мостовников, Г.Р. Мостовникова,
Л.Г. Плавская, А.И. Третьякова, А.В. Мостовников

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ НИЗКОИНТЕНСИВНОЙ ЛАЗЕРНОЙ И МАГНИТОЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Аннотация

Разработаны принципы построения многофункционального (универсального) многоцветного терапевтического аппарата, обеспечивающего возможность проведения лазерного и магнитолазерного воздействия по всем методикам, принятым в настоящее время в фототерапии, включая: локальную и зональную магнитолазеротерапию при наружном воздействии; полостную лазеротерапию; внутрисуставные и внутритканевые воздействия (метод фотоблокад); внутрисосудистое (внутривенное) воздействие на кровь с использованием одноразовых стерильных световодных насадок с иглой; надсосудистое (транскутанное) магнитолазерное воздействие на кровь; лазерную акупунктуру (воздействие на биологически активные точки и зоны), а также сочетание указанных технологий. Многофункциональность аппарата, реализованного с использованием современной элементной базы лазерных диодов, достигнута за счет разработанных авторами технических решений, основанных на применении коллиматора, установленного с возможностью перемещения вдоль оптической оси лазерного излучателя. Перемещение коллиматора относительно лазерного диода, генерирующего сильно расходящееся излучение, позволяет за счет изменения расходимости светового потока либо регулировать размеры светового пятна на теле пациента, либо фокусировать излучение на входной торце моноволоконного световода, применяемого для внутриволостных, внутритканевых и внутрисосудистых воздействий.

Современные технологии лазерной терапии предполагают разнообразные способы воздействия оптическим излучением для реализации его регуляторного влияния на организм человека: воздействие на очаги поражения наружной локализации; воздействие на проекции внутренних органов через кожный покров; воздействие на очаги поражения внутриволостной локализации; надвенное (чрескожное) воздействие на кровь; внутрисосудистое (внутривенное) облучение крови с использованием одноразовых стерильных световодных систем; внутрисуставные и внутритканевые воздействия (метод фотоблокад); воздействие на биологически активные точки (лазерная акупунктура) и рефлексогенные зоны (зоны Захарьина-Геда) [1]-[10].

В качестве источников излучения в фототерапевтических аппаратах в настоящее время используются преимущественно лазерные диоды (полупро-

водниковые лазеры) видимой и ближней инфракрасной областей спектра. Благодаря возможности выбора длины волны излучения в широком диапазоне, компактности, отсутствию высокого напряжения в источниках питания, малой потребляемой мощности, отсутствию хрупких стеклянных компонентов, легко реализуемой возможности изменения воздействующих параметров (мощности излучения, частоты следования импульсов), надежности и долговечности, коммерческой доступности и т. п., указанные полупроводниковые излучатели практически вытеснили другие типы лазеров из современной серийно выпускаемой (сертифицированной) терапевтической аппаратуры [8].

Вместе с тем использование лазерных диодов в качестве источника излучения многофункционального терапевтического аппарата создает определенные сложности для реализации конструктивных